

HISTORIA NATURAL

Tercera Serie | Volumen 1 | 2011

CRITERIOS METODOLÓGICOS PARA EL ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN DE FITOLITOS CUATERNARIOS

Methodological criteria for the study and classification of Quaternary phytoliths.

Georgina Erra¹

¹ CONICET. División Paleobotánica. Museo de La Plata, Paseo del Bosque s/n, La Plata, Argentina.
georginaerra@yahoo.com.ar

F H N
FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA



Universidad Maimónides

Resumen. Se brinda la metodología aplicada para el estudio de fitolitos en sedimentos cuaternarios, tomando como caso de estudio un área representativa de la Pampa Norte, sudoeste de la provincia de Entre Ríos, Argentina, de la Unidad Geomorfológica “Colinas Loésicas de Crespo”. Dicha metodología comprende desde el trabajo de campo y el procesamiento en laboratorio, hasta la utilización de un sistema clasificatorio tendiente a aunar criterios para evitar la confusión nomenclatural existente, como así también la obtención del número mínimo de recuento de fitolitos necesario para que éste sea representativo de todo el material muestreado. La utilización de programas de asociación de muestras a lo largo de cada perfil y técnicas de análisis multivariados tendientes a comparar las muestras de diferentes perfiles, son otros temas desarrollados en el artículo.

Palabras clave. Fitólitos, Metodología, Entre Ríos, Cuaternario.

Abstract. It is offered the methodology applied for the study of phytoliths in quaternary sediments, taking as a case of study a North Pampa representative area, Southwestern Entre Ríos province, Argentina, from the Geomorphological Unit “Colinas Loésicas de Crespo”. This methodology includes from the field work and laboratory processing, up to the use of a unifying classificatory system tending to avoid the existing nomenclatural confusion. Furthermore, this method achieves a minimal number of phytoliths necessary to be counted for being representative of the whole sampled material. The use of programs of sample association along every profile and techniques of multivariate analyses tending to compare the samples of different profiles, are other topics developed in the article.

Key words. Phytoliths, Methodology, Entre Ríos, Quaternary.

INTRODUCCIÓN

Los fitolitos son partículas microscópicas de sílice amorfa hidratada depositada en espacios intracelulares y/o intercelulares de los tejidos vegetales, que pueden presentar una amplia variedad de formas (Rovner, 1983; Piperno, 1988, 2006). Debido a que su morfología permanece constante dentro de determinados grupos vegetales, es que los fitolitos constituyen una significativa herramienta de información taxonómica (Jones y Handreck, 1965; Blackman, 1969; Raven, 1983; Piperno, 1988). Además, al ser estructuras silíceas resistentes pueden permanecer estables en el sedimento por cientos y hasta millones de años después de la desaparición del organismo vegetal que los originó (Rovner, 1983; Twiss, 1987; Piperno, 1988; Carter, 1999), por lo que se convierten en importantes elementos de análisis en estudios paleobotánicos, paleoecológicos y arqueológicos, entre otros.

El análisis de los fitolitos es una de las disciplinas paleobotánicas utilizadas para la reconstrucción de ecosistemas pasados, ya que proporcionan un registro preciso de una parte de la vegetación, en áreas concretas y en un momento determinado. Lamentablemente, aún no existe una clasificación unificada, que permita la adecuada sistematización de los restos fitolíticos. La falta del establecimiento de pautas clasificatorias para instaurar una sistemática de fitolitos que permita un preciso tratamiento y delimitación de las categorías, de acuerdo a las normativas de la nomenclatura botánica ya fue indicado por Zucol y Brea (2005). Uno de los aspectos a tratar en el presente trabajo, radica en la necesidad de una clasificación fitolítica clara y generalizada, por lo que, atendiendo al problema nomenclatural existente, se delimitó el criterio para la determinación de los morfotipos utilizados.

Así, ante la disparidad de metodologías previas, es que se destaca la importancia de la necesidad de su unificación para lograr de este modo que los datos obtenidos a nivel mundial sean comparables, como así también la importancia de una tabla de equivalencias de morfotipos.

En el presente trabajo se describe la metodología aplicada en el estudio de fitolitos en sedimentos loésicos cuaternarios del sudoeste de la provincia de Entre Ríos, Argentina.

Debido a la falta de consenso en varios aspectos metodológicos de esta temática, se presenta una estandarización que abarca todas las etapas del estudio.

La presente comunicación es el resultado del planteamiento desarrollado en el trabajo de tesis doctoral de la autora (Erra, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

Como caso de estudio se tomó el área analizada por Erra (2010) que abarca el sudoeste de la provincia de Entre Ríos, Argentina. Esta región geográfica forma parte del borde noreste de la Faja Periférica Loésica (FPL) del Sistema Eólico Pampeano (SEP, sensu Iriondo y Kröhling, 1995). La Formación Tezanos Pinto (Iriondo, 1980) constituye la unidad sedimentaria cuaternaria representativa del loess de la Pampa Norte (Figura 1). Los materiales que componen esta Formación fueron depositados durante el Estadío Isotópico del Oxígeno 2 (EIO2) en un rango que abarca entre los 36.000 a los 8.500 años AP (Pleistoceno Tardío- Holoceno Temprano) (Iriondo y Kröhling, 1996). En esta área (sudoeste de Entre Ríos) la Formación Tezanos Pinto constituye la Unidad Geomorfológica "Colinas Loésicas de Crespo" (Iriondo, 1998)

(Figura 1), donde se dispone cubriendo el relieve en forma de manto de 2-5 metros de espesor. La facies primaria de la Formación está integrada por un loess pardo brillante en húmedo (7,5 YR 5/6) y pardo anaranjado mate en seco (7,5 YR 7/3), constituido por limos con poca cantidad

de arcilla y escasa o nula fracción arenosa apreciable, masivo, de estructura migajosa, pulverulento y friable, estructurado en general en bloques angulares medios a gruesos, muy débiles. En general con alto contenido de carbonato de calcio (Iriondo y Kröhling, 1995).

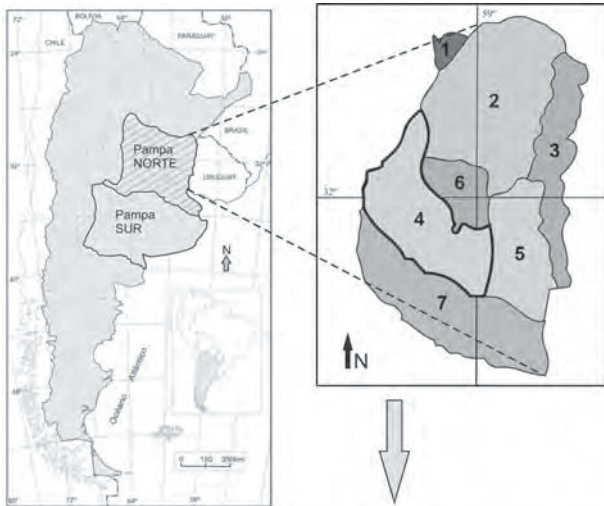


Figura 1 - Mapa de ubicación de la Pampa Norte, modificado de Iriondo (1994). En detalle se diferencian las Unidades geomorfológicas (Iriondo, 1998). La Unidad 4 corresponde a las denominadas "Colinas Loésicas de Crespo" y detalle de sitios de muestreo.

Sitios de muestreo

- 1-La Juanita
- 2-Alvear
- 3-Villa Valle María
- 4-Diamante Norte
- 5-Las Cuevas
- 6-Rincón del Doll
- 7-Gauchito Gil
- 8-Cantera Vial Mat
- 9-Tipo Tezanos Pinto
- 10-Protestante

Se seleccionaron diez perfiles representativos siguiendo una transecta SE-NO a lo largo de la unidad “Colinas Loésicas de Crespo” (Figura 1). El levantamiento de los perfiles se organizó siguiendo 3 transectas: una en sentido SE-NO y dos en sentido SO-NE perpendiculares a la primera.

Las muestras se obtuvieron mediante las normas básicas de trabajo a campo con el fin de evitar contaminaciones del material (Figura 2), donde se limpió el perfil y se muestreó de abajo hacia arriba en cada perfil, con una equidistancia de 10 cm entre muestras. Una vez embolsadas y rotuladas, las muestras de aproximadamente 250 gr, fueron incorporadas al laboratorio donde se comenzaron las tareas de procesamiento con la finalidad de concentrar los microrrestos vegetales objeto de este estudio. Se siguió la metodología desarrollada por Zucol y Osterrieth (2002) que consiste en el secado, molienda y tamizado grueso del material proveniente del campo, eliminación de sales solubles (con agua destilada en frío y luego en caliente), eliminación de carbonatos, cementos y barnices (con ácido clorhídrico en frío y en caliente), y eliminación de materia orgánica (agregando agua oxigenada 100 volúmenes al 30%). Dispersión de las arcillas (utilizando hexametáfosfato de sodio). Separación granulométrica para la obtención de tres fracciones (fina -diámetro de partícula entre 8 y 53 μm -, media -diámetro entre 53 y 250 μm -, y gruesa -diámetro mayor a 250 μm -), separación densimétrica (con politungstato de sodio como líquido pesado, densidad 2,3), y por último la elaboración de los preparados fijos (en Bálsamo de Canadá para repositorio y colección) y preparados líquidos (en aceite de inmersión para permitir la rotación y vistas de los cuerpos desde sus diferentes lados).

La identificación, clasificación y cuantificación de los morfotipos fitolíticos observa-

dos se realizó sobre los elementos aislados encontrados en las diferentes muestras. Las observaciones microscópicas fueron realizadas en un microscopio binocular Hokenn modelo WPB 100 con un aumento de 640x (16x de ocular y 40x de objetivo); las microfotografías fueron obtenidas con una cámara digital Sony DSC-W30 de 6 megapíxeles.

Para esta tarea en particular se ha seguido el criterio clasificatorio propuesto por Zucol y Brea (2005) con los aportes de los autores más reconocidos en esta temática de estudio, como Twiss, *et al.*, 1969; Bertoldi de Pomar, 1971; Twiss, 1992; Fredlund y Tieszen, 1994 y Madella *et al.*, 2005, entre otros. Atendiendo al problema nomencla-



Figura 2 - Esquema del perfil Diamante Norte indicando la obtención de muestras sedimentarias a campo.

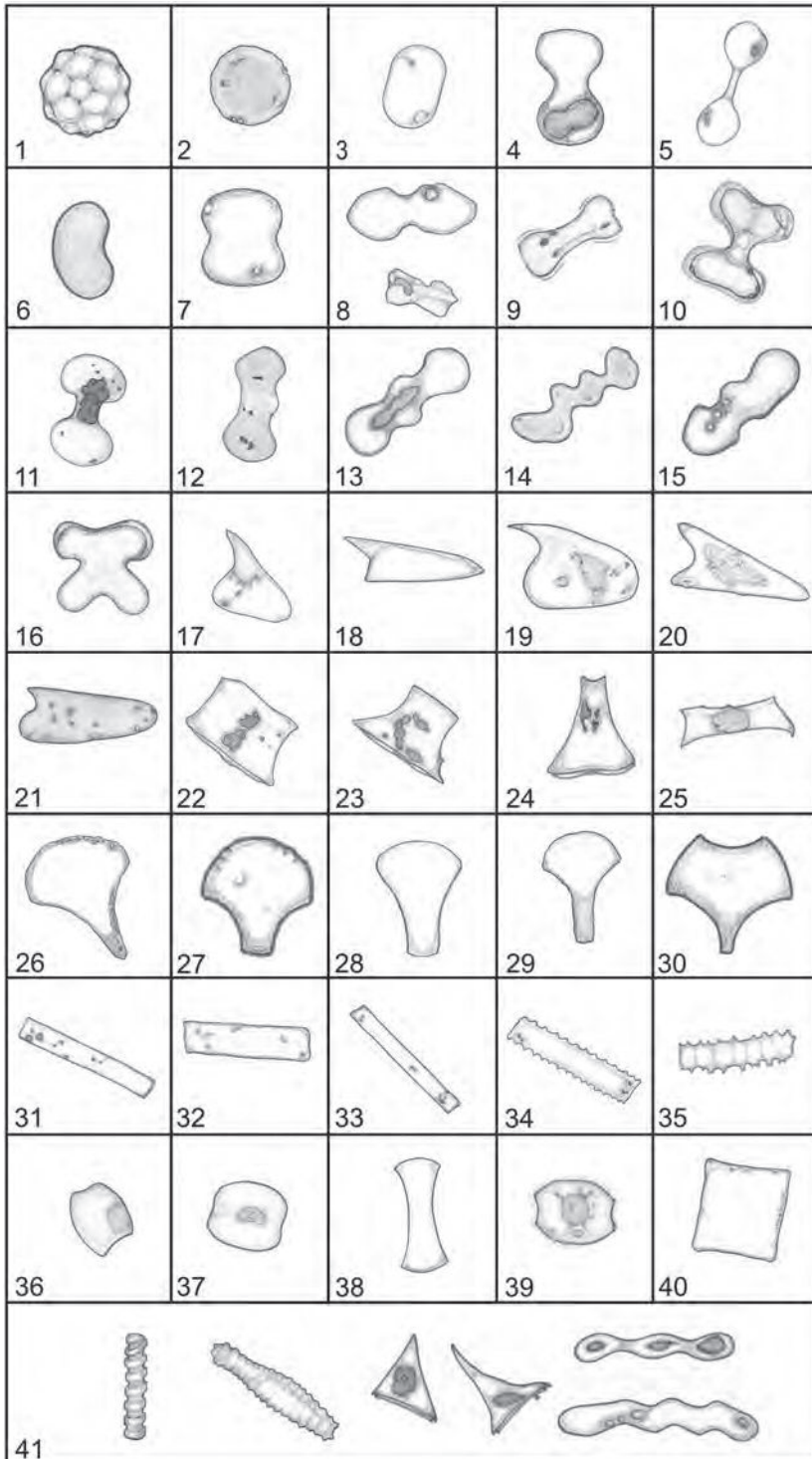


Figura 3 - Representación esquemática a escala no comparativa de los morfotipos utilizados en este análisis.

Nº	Twiss, <i>et al.</i> , 1993, Twiss, 1992	Berthel <i>et al.</i> , 1971	Kondo <i>et al.</i> , 1994, Alexandre <i>et al.</i> , 1997, Bremont <i>et al.</i> 2005	Friedlund y Tieszen, 1994, Munford, 1989	Gallego y Diezel, 2004	Carnelli <i>et al.</i> , 2004	Zucol y Brea, 2005	Maldella <i>et al.</i> , 2005	Barbieri <i>et al.</i> , 2006	Zucol y Brea, 2006	Nombre utilizado en este análisis
1	-----	Globulita estereocuinata	Spherical spinulose class, Kondo <i>et al.</i> , 1994, spherical crenate, Bremont <i>et al.</i> 2005	-----	-----	Spherical rugose	Globulidium spheerocinulatum	Globular echinate-granulate	Globular granulate	Globulita estereocuinata	Globulidium spheerocinulatum
2	-----	Globulita	Spherical smooth class p.p. Kondo <i>et al.</i> , 1994 = Bremont <i>et al.</i> 2005	-----	-----	Spherical smooth	Globulidium spheerocinulatum	Globular smooth	Globular smooth	Redondeado sp1	Globulidium spheerocinulatum
3	-----	Globulita	-----	-----	Elliptical, Oblong	-----	-----	Ovate-oblong	-----	Globulita elipsoquinata/ elipso sp1	Elipsoico
4	Dumbbell	Halteridita	Dumbbell Alexandre <i>et al.</i> , 1997 = Bremont <i>et al.</i> 2005	Single-lobate	Dumbbell	-----	-----	Bilobate	Bilobate	Halteridita	Halteridita
5	Dumbbell, long shank	-----	idem	-----	Dumbbell with long central portion	-----	(Halterio de centro largo y extremos convexos Zucol, 1996)	Bilobate	Bilobate	Halteridita sp1	Euhalteridita centro largo
6	-----	Euhalteridita fasciculata	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Bilobate	Halteridita fasciculata	Euhalteridita fasciculata
7	Dumbbell, short shank	Euhalteridita bulbata	idem	-----	Dumbbell with short central portion	-----	-----	Bilobate	Bilobate	Halteridita bulbata	Euhalteridita bulbata
8	-----	-----	idem	Stipe-type	Stipe-type dumbbell	-----	-----	Bilobate	Bilobate	Halteridita stipe-type	Euhalteridita tipo Stipa
9	Dumbbell, short shank, straight ends	Euhalteridita testicaudata (para los de final recto)	idem	Paricoid-type	Dumbbell with long central portion and straight end	-----	-----	Bilobate	Bilobate	Halteridita testicaudata	Euhalteridita testicaudata
10	Dumbbell, short shank, concave ends	Euhalteridita testilobata (para los de final cóncavo)	idem	Paricoid-type	Paricoid-type dumbbell	-----	-----	Bilobate	Bilobate	Halteridita testilobata	Euhalteridita testilobata
11	Dumbbell, short shank	Euhalteridita biestata	idem	Single-lobate	Dumbbell with short central portion and convex end	-----	(Halterio de centro corto y extremos convexos Zucol, 1996)	Bilobate	Bilobate	Halteridita biestata	Euhalteridita biestata
12	Dumbbell, nodular, spiny shank	Punihalteridita inequibata	idem	Other lobate	Irregular, complex dumbbell, straight or convex end	-----	-----	Polylobate irregular	Trapeziform polylobate	Halteridita inequibata	Punihalteridita inequibata
13	Regular, dumbbell	*Punihalteridita trilobata	Polylobate Bremont <i>et al.</i> 2005	Other lobate	Regular, complex dumbbell, straight or convex end	-----	-----	Polylobate regular	Trapeziform polylobate	Halteridita trilobata	Punihalteridita trilobata
14	Crenate	Punihalteridita attenuata	idem	Crenate	Crenate dumbbell, straight or convex end	-----	-----	Polylobate	Trapeziform polylobate	Halteridita attenuata	Punihalteridita attenuata
15	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Elemento de conducción
16	Cross	Euhalteridita cruciformata	Cross Bremont <i>et al.</i> 2005	Cross	Cross	-----	-----	Cross	Cross	Halteridita cruciformata	Euhalteridita cruciformata
17	Point shaped Twiss, 1992	Aculeidita	Point shaped class Kondo <i>et al.</i> , 1994 = Bremont <i>et al.</i> 2005	-----	Hairs, prickles or hooks. Point shaped class	Trichomas	Aculeolithum p.p. (Agallón y García Zucol, 1996)	Hooks, prickles and maculars	Acicular hair cell	Aculeidita	Aculeolithum
18	idem	Aculeidita rostrata	idem	-----	idem	Trichomas	Aculeolithum rostratum	-----	Acicular hair cell	Aculeidita rostrata	Aculeolithum rostratum
19	idem	Aculeidita ancinata	idem	-----	idem	Trichomas	Aculeolithum ancinatum	-----	Acicular hair cell	Aculeidita ancinata	Aculeolithum ancinatum
20	idem	Aculeidita acuminata	idem	-----	idem	Trichomas	Aculeolithum acuminatum	-----	Acicular hair cell	Aculeidita acuminata	Aculeolithum acuminatum

CONTINUA EN PÁGINA SIGUIENTE

N°	Twiss, <i>et al.</i> , 1969, Twiss, 1992	Bertoldi de Pinar, 1971	Kondo <i>et al.</i> , 1994, Alejandro <i>et al.</i> , 1997, Bernal <i>et al.</i> 2005	Friedland y Tlaxien, 1994, Mulholland, 1989	Gallogo y Diezel, 2004	Canelli <i>et al.</i> , 2004	Zucchi y Beca, 2005	Modela <i>et al.</i> , 2005	Bañón <i>et al.</i> , 2006	Zucchi y Baramo, 2008	Nombre utilizado en este análisis
21	Idem	Aculeolita aciculata	Idem	Conical-pyramidal F. y T., 1994, Mulholland, 1989	Idem	Trichomas	Aculeolithum aciculatum	-----	Acicular hair cell	Aculeolita aciculata	Aculeolithum aciculatum
22	-----	Estrobolita equidimensional	Conical Bernal <i>et al.</i> 2005	Conical-pyramidal F. y T., 1994, Mulholland, 1989	Panoid type dumbbell	Trapozoids	-----	Rondel	Rondel short cell	Estrobolita equidimensional	Estrobolita equidimensional
23	-----	Estrobolita complanata	Idem	Conical-pyramidal	Spa type dumbbell	Long trapozoids	-----	Rondel	-----	Estrobolita complanata	Estrobolita complanata
24	-----	Estrobolita elongata (con cintura)	Idem	Conical-pyramidal	-----	Narrow, chimney-like trapozoids	-----	Rondel	-----	Estrobolita elongata	Estrobolita elongata
25	-----	-----	Idem	Conical-pyramidal	-----	Long trapozoids	-----	Rondel	-----	Estrobolita sp1	Estrobolita spinata
26	Fan-shaped, 1992	Flabiolita	Fan-shaped class Kondo <i>et al.</i> , 1994 = Bernal <i>et al.</i> 2005	-----	Fan	Bulliform cells	Flabiolithum p.p.	Coniform/parallel-petal bulliform cell	Coniform bulliform	Flabiolita	Flabiolithum
27	Idem	Flabiolita entabulata	Idem	-----	Fan	Bulliform cells	Flabiolithum entabulatum	-----	Coniform bulliform	Flabiolita entabulata	Flabiolithum entabulatum
28	Idem	Flabiolita complanata	Idem	-----	Fan	Bulliform cells	Flabiolithum complanatum	-----	Coniform bulliform	Flabiolita complanata	Flabiolithum complanatum
29	Idem	Flabiolita elongata	Idem	-----	Fan	Bulliform cells	-----	-----	Coniform bulliform	Flabiolita elongata	Flabiolita elongata
30	Idem	Flabiolita excavata	Idem	-----	Fan	Bulliform cells	-----	-----	Coniform bulliform	Flabiolita excavata	Flabiolita excavata
31	Elongate sinuous	Epismatolita ondulata	Idem	-----	Elongate sinuous	Rod long coarse wavy	Macropismatolithum ondulatum	Elongate sinuate	Elongate	Prismatolita ondulata	Macropismatolithum ondulatum
32	Elongate smooth	Epismatolita palaeistata	Elongate class Kondo <i>et al.</i> , 1994 = Bernal <i>et al.</i> 2005	-----	Elongate smooth	Rod long smooth	Macropismatolithum palaeistatum	Elongate psilate	Elongate	Prismatolita psilata	Macropismatolithum palaeistatum
33	Elongate	Epismatolita elongata	Idem	-----	Elongate	Rod long smooth	-----	Elongate	Elongate	-----	Epismatolita elongata
34	Elongate	Epismatolita serrata	Idem	-----	Elongate	Rod long	-----	Elongate	Elongate	-----	Epismatolita serrata
35	Elongate spiny	Epismatolita denticulata	Idem	-----	Elongate spiny	Rod long smooth thin wavy	Macropismatolithum denticulatum	Elongate erenate	Elongate	Prismatolita denticulata	Macropismatolithum denticulatum
36	Elongate	Epismatolita excavata	Idem	-----	Elongate	Rod long	-----	Elongate	Elongate	-----	Epismatolita excavata
37	Chloroid	Dololita equidimensional	Saddle Bernal <i>et al.</i> 2005	Saddle	Normal saddle	-----	-----	-----	Saddle	Dololita equidimensional	Dololita equidimensional
38	Thin Chloroid	Dololita elongata	Idem	Saddle	Thin saddle	-----	-----	-----	Saddle	Dololita elongata	Dololita elongata
39	Chloroid	Dololita obliata	Idem	Saddle	-----	-----	-----	-----	Saddle	Dololita obliata	Dololita obliata
40	Rectangular	Braquilita	-----	-----	Rectangular	-----	-----	Paralloipetal	-----	Pelédricos sp1	Pelédricos
41	-----	-----	-----	-----	-----	Otros	-----	-----	-----	-----	Otros

Tabla 1 - Equivalencia nomenclatural de morfotipos fitolíticos entre las principales clasificaciones consultadas, las denominaciones utilizadas y los empleados en este trabajo. En las columnas se indica la fuente original y en las filas se indican los morfotipos. Los números de la primera columna corresponden a los esquemas de la figura 3.

tural existente, se realizó una tabla comparativa (Tabla 1) con las equivalencias clasificatorias propuestas por los autores mencionados así como incorporaciones del código internacional, donde también se muestra el nombre utilizado en las descripciones desarrolladas en este análisis, definido en la misma tabla, refiriéndolo a esquemas presentados en la Figura 3.

Recuento de fitolitos y obtención de la muestra mínima.

Al no existir valores universales en lo que respecta al número de individuos fitolíticos a recontar en una muestra, de modo de asegurarse que ésta sea representativa del material procesado, hay que recurrir a la definición de la muestra mínima, representativa de un conjunto de muestras de igual origen. Para ello, una vez obtenidos los preparados se comienza con su observación al microscopio óptico, de esta manera se obtiene el valor de la muestra mínima, que resulta de establecer la variabilidad presente en el muestreo (que en este caso es la presencia de las diferentes clases morfológicas) a medida que se incrementa el número de fitolitos relevados. De esta forma si llevamos esto a un gráfico "x" e "y" (variabilidad vs. tamaño muestral) (Figura 4) observaremos que la variabilidad presente en las muestras se incrementará a medida que se incrementa el tamaño muestral. Tendencia que se manifiesta hasta un punto donde la curva se vuelve asintótica con el eje de las "y" (tamaño muestral) con un determinado valor de variabilidad, y es a partir de ese punto donde por más incrementos que realicemos en el tamaño de la muestra la variabilidad se mantiene más o menos constante o con leves diferencias. Ese punto nos indica cual es el límite in-

ferior de la representatividad de nuestras observaciones con respecto al tamaño muestral; la proyección de ese punto sobre el eje y, nos indicará cual es el tamaño de la muestra mínima representativa de la variabilidad analizada. En este caso la muestra mínima obtenida fue de 400 fitolitos por muestra. De esta manera el siguiente paso constó en la identificación, relevamiento y recuento de los fitolitos presentes en cada muestra.

Los conteos realizados se volcaron en planillas de cálculo para el análisis de la información, que se expresaron en valores de abundancia, tanto en valores porcentuales (frecuencias relativas) como en categorías de abundancia. Las abundancias relativas (Tabla 2) se consideraron en clases de frecuencias distribuidas en una escala que abarca desde la ausencia de los fitolitos de una determinada clase morfológica, a su presencia en forma "Rara", "Escasa", "Frecuente" o "Muy Frecuente". Los límites de dichas clases se obtuvieron teniendo en cuenta que: la *ausencia* está representada por el 0% de la frecuencia relativa. El valor máximo de la escala (D) es igual al valor

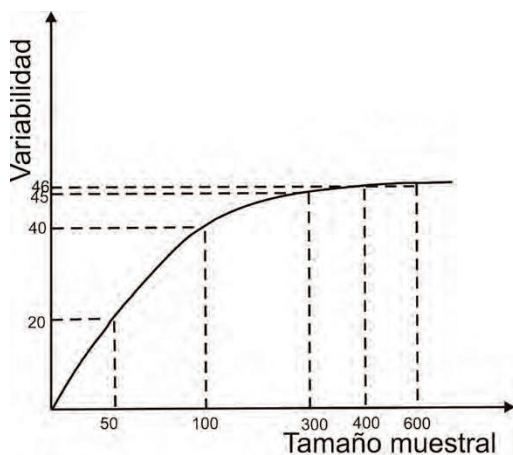


Figura 4 - Gráfico x e y (tamaño muestral vs. variabilidad) utilizado para la obtención de la muestra mínima.

frecuencia relativa del 0%	<i>Ausente (A)</i>
mayor al 0% y menor al valor A ($A = 0.1 \times D$)	<i>Raro (R)</i>
mayor o igual al valor A y menor que B ($B = 0.3 \times D$)	<i>Escaso (E)</i>
mayor o igual a B y menor que C ($C = 0.6 \times D$)	<i>Frecuente (F)</i>
si se encuentra entre C y D	<i>Muy frecuente (Mf)</i>
(D) es igual al valor de la clase morfológica que posee la mayor frecuencia relativa de la asociación	

Tabla 2 - Valores de abundancia (expresados en valores porcentuales -frecuencias relativas- y en categorías de abundancia). Detalle de las fórmulas explicada en el texto.

de la clase morfológica que posee la mayor frecuencia relativa de la asociación. *Raros* son los fitolitos cuyas abundancias poseen valores de frecuencia relativas superiores al 0% y que no superen el límite A, siendo $A = 0,1 \times D$. *Escasos* se han considerado a los fitolitos cuyas abundancias poseen valores de frecuencias relativas iguales o superiores a A y que no superen el límite B, siendo $B = 0,3 \times D$. *Frecuentes* se han considerado a los fitolitos cuyas abundancias poseen valores de frecuencias relativas iguales o superiores a B y que no superen el límite C, siendo $C = 0,6 \times D$. *Muy frecuentes* se han considerado a los fitolitos cuyas abundancias poseen valores de frecuencias relativas entre C y D (Zucol *et al.*, 2005).

Análisis de la información.

Una vez obtenidos los valores de abundancia se creó una matriz básica de datos (MBD) sobre la que se efectuaron los análisis numéricos. El procesamiento de la información y su graficación en diagramas fitolíticos se realizaron con el programa POLPAL, *Numerical Analysis* (Walanus y Nalepka 1999a, 1999b, 2002; Nalepka y Walanus 2003). El diagrama correspondiente al perfil "Diamante Norte", ejemplifica esta graficación (Figura 5). En el mismo se representa la abundancia de cada morfotipo fitolítico en cada muestra a lo largo del perfil. Lo que se indica como "Rarefacción" se refiere a

la riqueza de los taxones, mientras que el "Diagrama de *cluster*" es la sumatoria de las especies.

Con la información obtenida se realizó el análisis de los porcentajes a lo largo de cada perfil, con el fin de establecer las zonaciones; mediante métodos de análisis multivariado la comparación de los distintos perfiles con la intención de establecer vinculaciones entre las distintas asociaciones paleoflorísticas descriptas (Figuras 6 y 7).

Teniendo en cuenta que era necesario determinar si las diferencias entre las asociaciones fitolíticas correspondían a cambios ocurridos a través del tiempo o si se relacionaban con variaciones geográficas controladas por el clima u otros factores regionales, se realizó la comparación de las muestras de este perfil con un perfil de referencia (Perfil Tezanos Pinto Tipo) utilizando técnicas de análisis multivariado. Las dos técnicas utilizadas: el análisis de agrupamiento (Figura 6) y análisis de componentes principales (PCA) (Figura 7) se llevaron a cabo con el programa *PAST* (Hammer *et al.*, 2007). El análisis de componentes principales es un procedimiento que permite encontrar variables hipotéticas nuevas (componentes) que resumen gran parte de la varianza acumulada en las variables usadas como caracteres. Los análisis de agrupamiento permitieron construir fenogramas que agrupan muestras permitiendo visualizar las relaciones

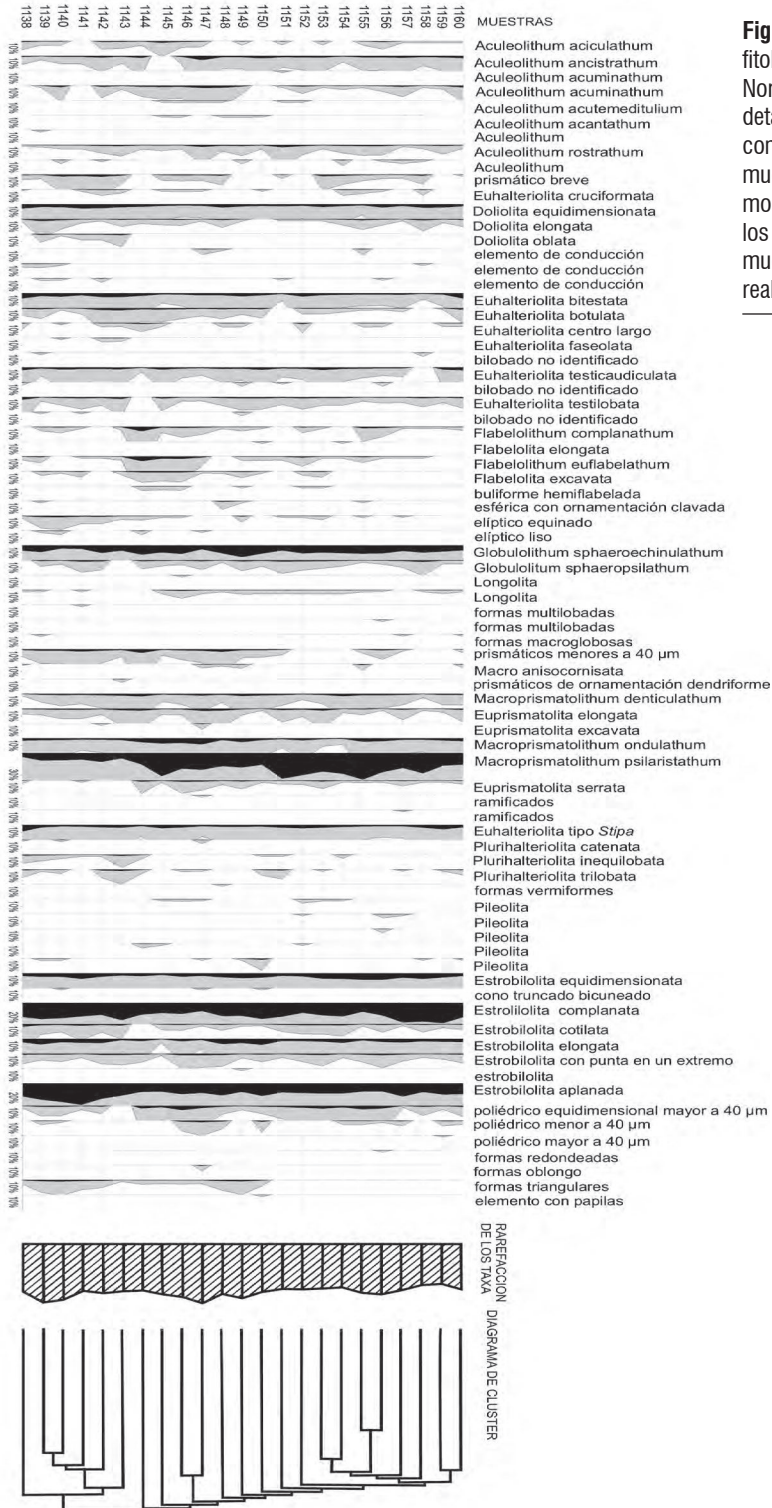


Figura 5 - Diagrama fitolítico del perfil Diamante Norte, en donde se detalla las características composicionales de las muestras, la abundancia de los morfotipos, la rarefacción de los taxones presentes en cada muestra y el análisis de cluster realizado con sus abundancias.

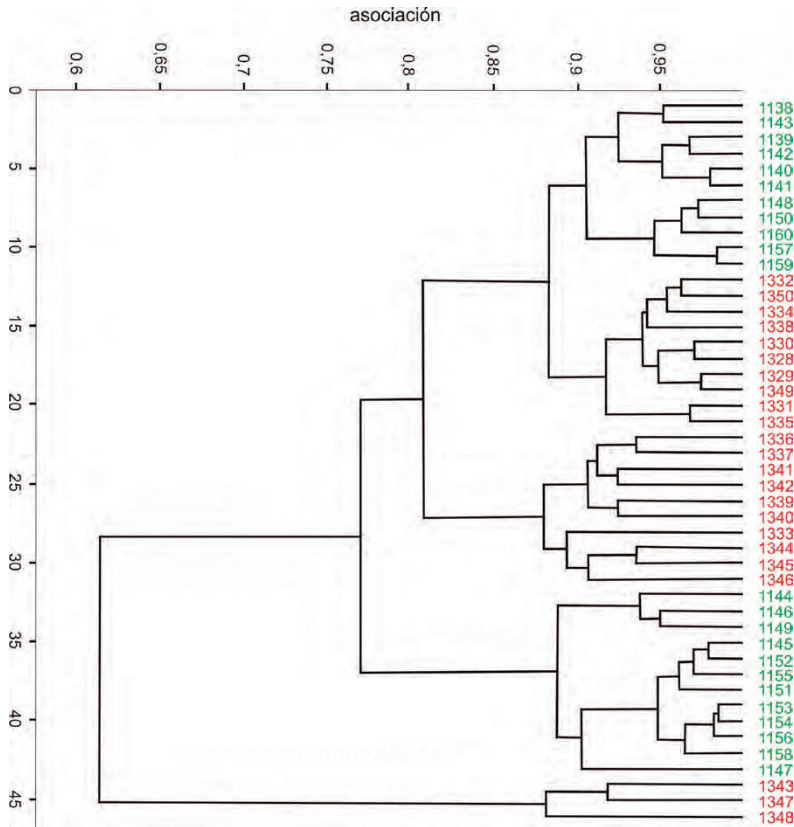


Figura 6. Dendrograma mostrando la asociación entre las muestras de los perfiles (Tezanos Tipo y Diamante Norte). El índice utilizado para medir el grado de asociación entre las muestras fue el de Moristia.

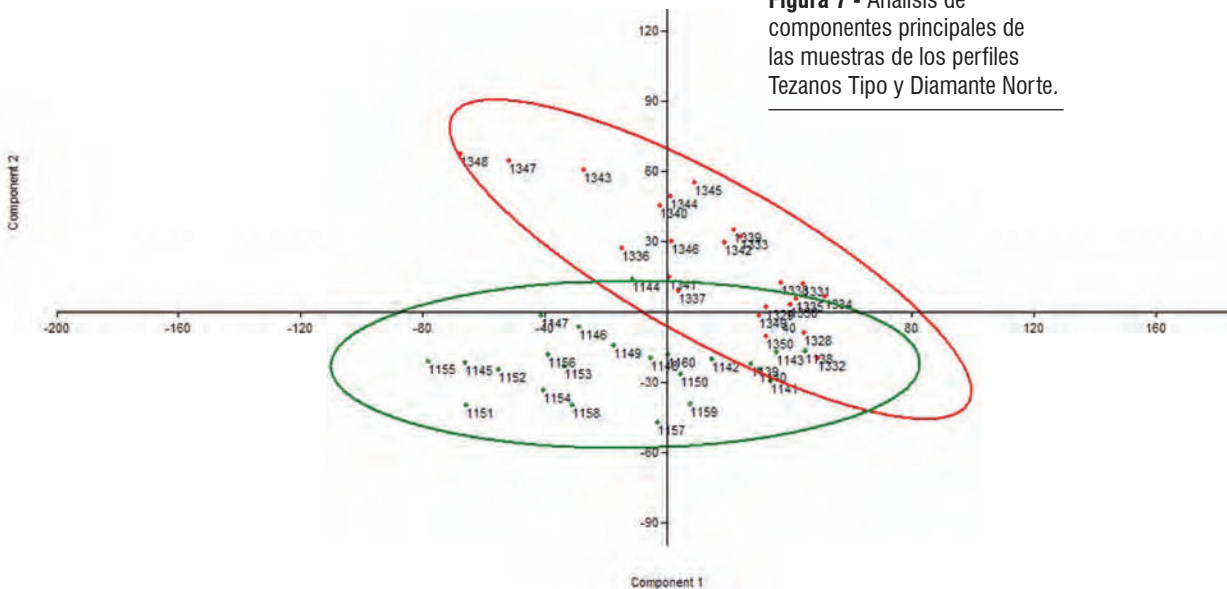


Figura 7 - Análisis de componentes principales de las muestras de los perfiles Tezanos Tipo y Diamante Norte.

entre las asociaciones fitolíticas. En ambos casos, las matrices básicas de datos (MBD) confeccionadas utilizaron como OTU a las muestras (asociaciones fitolíticas) obtenidas en los perfiles y como variables a los porcentajes de cada morfotipo presente en cada muestra (datos continuos discretos) (Figuras 6 y 7).

RESULTADOS

Los fitolitos presentan morfologías generalmente regulares, copiando la forma de caja de la célula que les dio origen. Dentro de los diferentes grupos vegetales, hay formas, que según los diversos autores, son características de determinados grupos taxonómicos. En este análisis se encontró una amplia variedad y diversidad de morfotipos; referidos tanto a microfítolitos (aquellos fitolitos de tamaño inferior a 40 µm; Figura 8) como a macrofítolitos (aquellos fitolitos de tamaño superior a 40 µm; Figura 9) siendo éstos de tipo cruces, bilobados, y polilobados, que son morfotipos encontrados predominantemente en la subfamilia Panicoideae (Twiss *et al.*, 1969; Mulholland, 1989; Fredlund y Tieszen, 1994; Kondo *et al.*, 1994). El tipo *saddle* (Doliolita) es producido en alta proporción por especies de la subfamilia Chloridoideae (Twiss *et al.*, 1969; Mulholland, 1989; Fredlund y Tieszen, 1994; Kondo *et al.*, 1994). El tipo cónico o rondel (Estrobilolita) es producido principalmente por la subfamilia Pooideae (Twiss *et al.*, 1969). Los provenientes de pelos, espinas y ganchos (morfotipo "*Aculeolithum*"), de células bulliformes (morfotipo "*Flabelolithum*"), y de células largas (morfotipo "*Macropismatolithum*"), son todos tipos celulares de origen epidérmico de gramíneas sin caracteres que permitan su asignación a alguna subfamilia en particular. Otros fitolitos hallados que no

pertenecen a taxones gramínoides son los esféricos equinados referibles a la familia Arecaceae (Kondo *et al.*, 1994; Runge, 1999; Runge y Fimbel, 1999; Vrydaghs y Dourelepont, 2000; Zucol y Brea, 2005).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La primera clasificación de fitolitos que se conoce es la efectuada por Ehrenberg (1841 y 1854) quien los consideró microorganismos vegetales, otorgándoles la categoría de parataxones, estableciendo alrededor de unos 10 morfogéneros y 90 morfoespecies. Por otro lado, Grob (1896) agrupó los morfotipos de fitolitos en unas 13 tribus; y estudios posteriores referidos específicamente a los fitolitos de gramíneas, fueron llevados a cabo por Pratt (1932), Parry y Smithson (1958a,b) y Metcalfe (1960) quienes distinguieron diferentes subfamilias de Poaceae sobre la base de estos elementos. El sistema propuesto por Ehrenberg (1854) fue modificado más tarde por Deflandre (1963). Sin embargo, en 1969, Twiss *et al.* propusieron una nueva clasificación morfológica de fitolitos de gramíneas, estableciendo 4 clases morfológicas (i.e., Festucoide, Chloridoide, Panicoide y Elongada). Posteriormente, sobre la base del esquema propuesto por Twiss *et al.* (1969), Bertoldi de Pomar (1971) es quien propone un nuevo ensayo de clasificación morfológica definiendo 13 morfotribus con 70 variantes de fitolitos a los cuales da una denominación particular. Otras propuestas clasificatorias se presentan en los trabajos de Mulholland (1989), Fredlund y Tieszen (1994), Kondo *et al.* (1994), Alexandre *et al.* (1997), Gallego y Distel (2004), Carnelli *et al.* (2004), Bremond *et al.* (2005), Zucol y Brea (2005), Barboni *et al.* (2006), entre otros.

Como fuera advertido por diversos autores en la actualidad no hay consenso sobre

el criterio a seguir para utilizar una sistemática de fitolitos que permita el claro tratamiento y denominación de estos elementos en un sistema universal (Zucol, 1995; Zucol 1999a; Bowdery, *et al.*, 1998; Hart, *et al.*, 2000; Lentfer *et al.*, 2000). En el año 2000, se conformó una comisión de nomenclatura que enunció un protocolo para la clasificación fitolítica en donde se plantearon los lineamientos básicos para la nomenclatura de los morfotipos fitolíticos (Madella *et al.*, 2002; 2005). Sin embargo, su utilización no logró generalizarse en la comunidad dedicada al estudio de estos microrrestos.

En este aporte se han brindando una serie de normas para el trabajo de campo y de laboratorio, así como también de los conteos necesarios a realizar para que la muestra sea representativa de su conjunto. También se unifican los criterios de clasificación volcados en una tabla de equivalencias nomenclaturales de los autores más reconocidos en esta temática particular (Tabla 1).

Otro punto tratado es el que respecta al número de individuos fitolíticos a recontar en una muestra, de modo de asegurarse que esa cantidad sea representativa del total del material procesado. Al no existir valores universales se recurrió a la muestra mínima (Figura 4). Esta metodología debe adecuarse a cada tipo de depósito y/o estudio de los diferentes microrestos (Stromberg, 2007). Con los morfotipos aquí definidos, y los valores de abundancia de cada uno de ellos dentro de cada muestra, se realizó una matriz básica de datos (MBD) en la que se establecieron las asociaciones fitolíticas (una por cada muestra analizada) graficadas en un diagrama

fitolítico, en donde se detallan las características composicionales de las muestras (la abundancia de los morfotipos, la rarefacción y el análisis de cluster) (Figura 5).

Con estas asociaciones se realizaron análisis multivariados tendientes a evaluar el grado de vinculación existente entre las muestras, en primera instancia, de cada perfil, y en segunda instancia de los diferentes perfiles, y así se determinó el grado de correlación existente entre las asociaciones fitolíticas (Figura 6-7).

A modo de conclusión, sobre la base de lo indicado anteriormente, se establecieron pautas metodológicas y clasificatorias en lo que al análisis de fitolitos se refiere, utilizando como caso de estudio diversas localidades fosilíferas del Pleistoceno-Holoceno ubicadas al sudoeste de la provincia de Entre Ríos, Argentina.

Los resultados obtenidos evidencian la potencialidad de la metodología empleada y su posible aplicación en otro tipo de estudios, como por ejemplo, en diatomeas, poríferos silíceos, foraminíferos silíceos, y radiolarios, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea agradecer a Manuel Coppello por los dibujos, a Raúl Herrera por la ayuda con los mapas y a Cecilia Deschamps y Analía Artabe por la lectura y sus valiosas sugerencias que contribuyeron a mejorar este trabajo. Este trabajo fue financiado con fondos provenientes del PICT 07-13864 (ANPCyT).

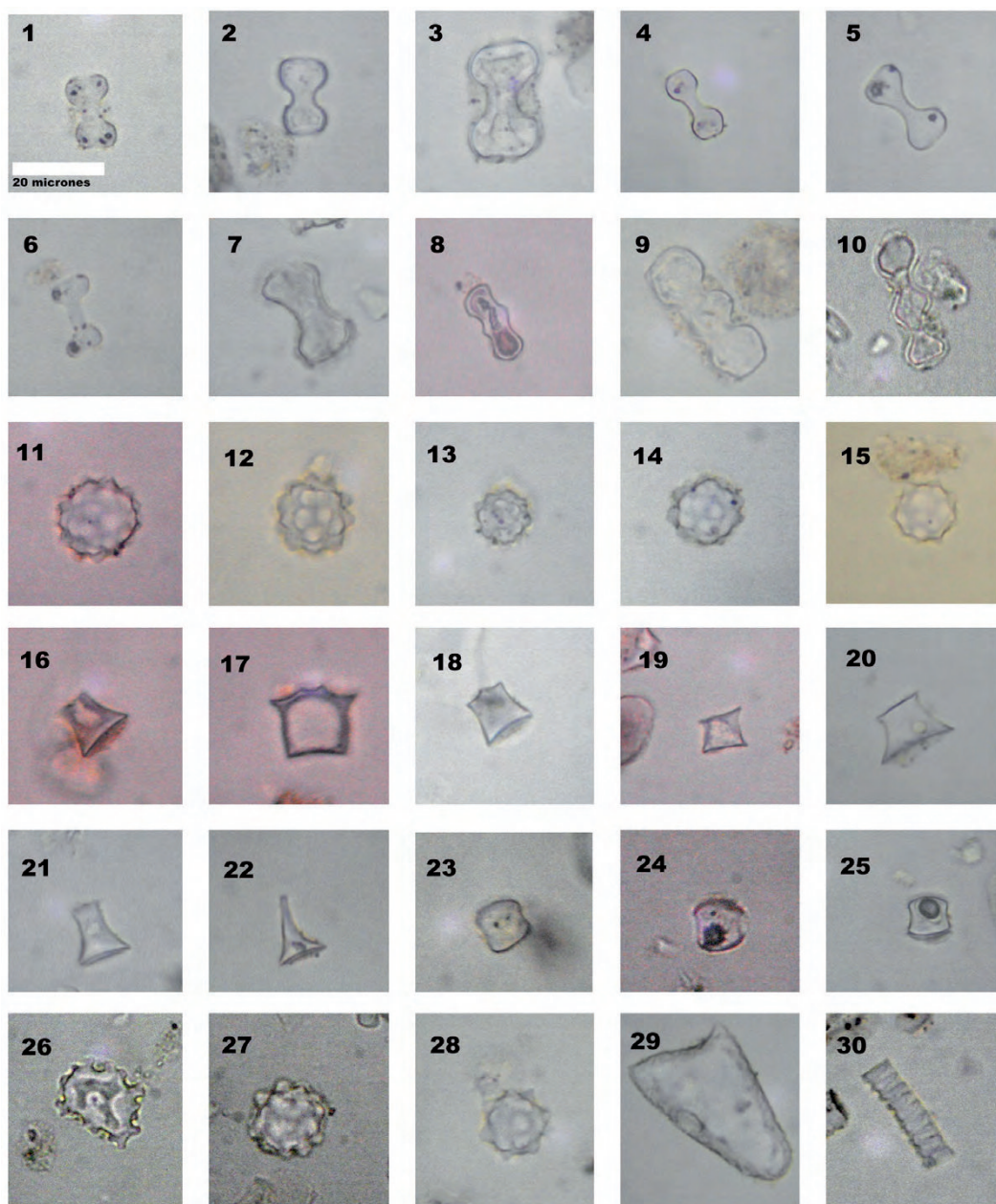


Figura 8 - Lámina microfitolitos del Perfil Diamante Norte. 1-7: Fitolitos bilobados originados en células cortas en forma de pesa de gimnasia, *Halteriolita*. 8-10: Fitolitos polilobados regulares, *Plurihalteriolita trilobata*. 11-15, 27, 28: Fitolitos esféricos equinados, *Globulolithum sphaeroequinulathum*. 16-22: Fitolitos provenientes de células cortas en forma de conos truncados, *Estrobilolita* ("rondel"). 23-25: Fitolitos originados en células cortas en forma de silla de montar, *Doliolita* ("saddle"). 26: Fitolito no identificado. 29: Fitolito originado a partir de agujones, *Aculeolithum* 30: Fitolito originado en elementos de conducción. Escala gráfica en 1 = 20 micrones (válida para todas las imágenes).

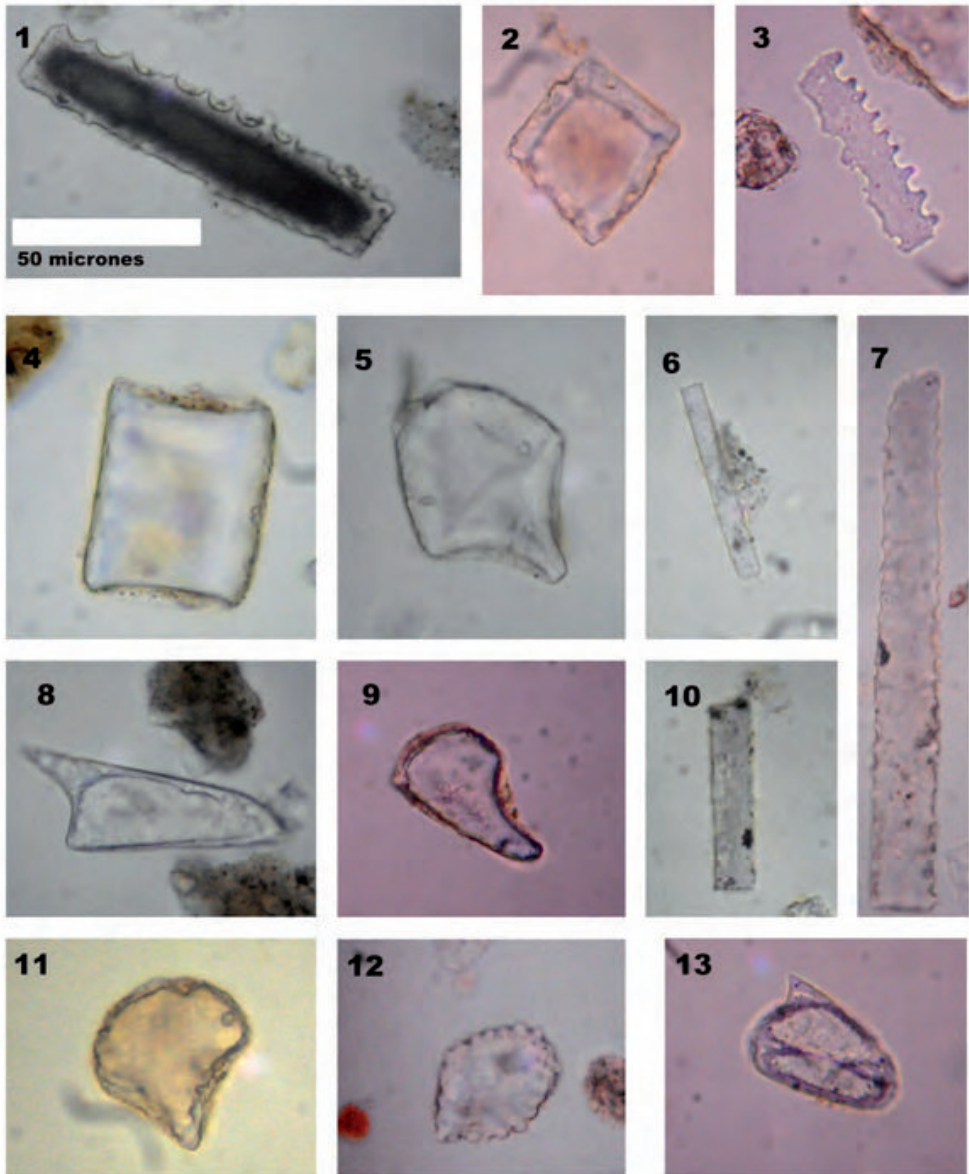


Figura 9 - Lámina macrofitolitos del Perfil Diamante Norte. 1,3,6,7,10: Fitolitos prismáticos elongados *Macropri-matolithum*. 2,4: Fitolitos poliédricos. 5,9,11: Fitolitos originados en células bulliformes en forma de abanico, *Fla-belolithum*. 8,13: Fitolitos originados a partir de agujones, *Aculeolithum*. 12: Longolita. Escala gráfica en 1 = 50 micrones (válida para todas las imágenes).

BIBLIOGRAFÍA

- Alexandre, A., Meunier, J., Lezine, A., Vincens, A. y Schwartz, D. 1997. Phytoliths: indicators of grasslands dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 136: 213-229.
- Barboni, D., Bonnefille, R., Alexandre, A. y Meunier, J. D. 1999. Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West Side Middle Awash Valley, Ethiopia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152: 87-100.
- Bertoldi de Pomar, H. 1971. Ensayo de clasificación morfológica de los silicofitolitos. *Ameghiniana*, 7: 317-328.
- Blackman, E. 1969. Observation on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat. *Canadian Journal of Botany*, 47: 827-838.
- Bowdery, D., Hart, D.M., Lentfer, C. y Wallis, L.A. 1998. A universal phytolith key. 2nd International Meeting on phytolith Research (Aix en Provence, Francia). Abstracts, 17.
- Bremond, L., Alexandre, A., Hély, C. y Guiot, J. 2005. A phytolith index as a proxy of tree cover density in tropical areas: Calibration with Leaf Area Index along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. *Global and Planetary Change*, 45: 277-293.
- Carnelli, A.L., Theurillat, J.P. y Madella, M., 2004. Phytolith types and type-frequencies in subalpine-alpine plant species of the European Alps. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 129: 39-65.
- Carter, J. A. 1999. Late Devonian, Permian and Triassic phytoliths from Antarctica. *Micropaleontology*, 45: 56-61.
- Deflandre, G. 1963. Les phytolithaires (Ehrenberg). Nature et signification micropaléontologique, pédologique et géologique. *Protoplasma*, 57: 234-259.
- Ehrenberg, C. G. 1841. Über verbreitung und Einfluss des mikroskopischen lebend in Süd und Nordamerika. *Monatsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*: 139-144.
- Ehrenberg, C. G. 1854. Mikrogeologie. Leopold Voss, Leipzig. 354 pp.
- Erra, G. 2010. Estudio fitolítico de la Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno Tardío-Holoceno Temprano) en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. 288pp.
- Fredlund, G. G. y Tieszen, L.T. 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography*, 21: 312-335.
- Gallego, L. y Distel, R. A. 2004. Phytolith assemblages in grasses native to Central Argentina. *Annals of Botany*, 94: 865-874.
- Grob, A. 1896. Beiträge zur Anatomie der Epidermis der Gramineenblätter. *Bibliotheca Botanica*, 7: 1-122.
- Hammer, O., Harper, D.A.T. y Ryan, P. D. 2007. Past-Palaeontological Statistics, ver. 1.75, 86 pp.
- Hart, D. M., Lentfer, C., Wallis, L.A. y Bowdery, D. 2000. A universal phytolith key: Point class. 3th International Meeting on phytolith Research (Tervuren, Bélgica), Abstract: 13-14.
- Iriondo, M. 1994. Los climas cuaternarios de la región pampeana. *Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales «Florentino Ameghino»* 4(2):1-48.
- Iriondo, M. 1998. *Loess in Argentina: temperate and tropical*. Guide N° 3 Province of Entre Ríos. International Joint Field Meeting, INQUA, 12 pp.
- Jones, L. H. y Handreck, K. A. 1965. Studies of silica in the oat plant. II. Uptake of silica from soils by the plant. *Plant and Soil*, 23: 79-96.
- Kondo, R., Childs, C. y Atkinson, I. 1994. Opal phytoliths of New Zealand. Maanaki Whenua Press, Lincoln. 85 pp.
- Lentfer, C., Wallis, L.A., Bowdery, D. y Hart, D.M. 2000. A universal phytolith key: Prismatic/ellipsoid/trapezoid (PET) class. 3th International Meeting on phytolith Research, Tervuren, Bélgica, Abstract: 14.
- Madella, M., Alexandre, A. y Ball, T. 2002. International Code for Phytolith Nomenclature. 4th International Meeting on Phytolith Research (Cambridge, Inglaterra), Abstract: 8.
- Madella, M., Alexandre, A. y Ball, T. 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1-0. *Annals of Botany*, 96: 253-260.
- Metcalf, C. R. 1960. *Anatomy of monocotyledons I. Gramineae*. Clarendon Press. Oxford. 731 pp.
- Mulholland, S.C. 1989. Phytoliths shape frequencies in North Dakota grasses: a compa-

- risson to general patterns. *Journal of Archaeological Science*, 16: 489–511.
- Nalepka, D. y Walanus, A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Paleobotanica*, 43: 125-134.
- Parry, D.W. y Smithson, F. 1958a. Silicification of bulliform cells in grasses. *Nature*, 181: 1549-1550.
- Parry, D.W. y Smithson, F. 1958b. Silicification of branched cells in the leaves of *Nardus stricta*. *Nature*, 182: 1460-1461.
- Piperno, D.P. 1988. *Phytolith Analysis - An Archaeological and Geological Perspective*, vol. 1. Academic Press/Harcourt Brace Jovanovich, New York (US). 280 pp.
- Piperno, D.R. 2006. *Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologist and Paleocologist*. Altamira Press, 248pp
- Pratt, H. 1932. L'épiderme des Graminées: Etude anatomique et systématique. *Annales des Sciences Naturelles Botanique et Biologie Végétale* série 10, 14: 117-324.
- Raven, J. A. 1983. The transport and function of silica in plants. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 58: 179-207.
- Rovner, I. 1983. Plant opal phytolith analysis: major advances in archaeobotanical research. En: Schiffer, M. (ed.) *Advances in archaeological method and theory*. New York, Academic Press, 225-260.
- Runge, F. 1999. The opal phytolith inventory of soils in central Africa—quantities, shapes, classification, and spectra. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 107: 23-53.
- Runge, F. y Fimbel, R. 1999. Opal phytoliths as evidence for the formation of savanna islands in the rain forest of Southeast Cameroon. En: Heine, K., Runge, G.E.J. (eds.), *International Union for Quaternary Research. Proceeding of the VXth INQUA Conference (15th: 1999: Durban South Africa)-Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, Tokyo, pp. 171-189.
- Twiss, P. C, Suess, E. y Smith, R. M. 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Science of America, Proceedings*, 33:109-115.
- Twiss, P. C. 1987. Grass-opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. En: Johnson WC, (ed.) *Quaternary environments of Kansas*. Lawrence: Kansas Geological Survey, 179–188.
- Vrydaghs, L. y Doutrelepon, H. 2000. Analyses phytolithariennes: acquis et perspectives. En: Servant-Vildary, S. y Servant, M. (eds.), *Dynamiques á long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux*. UNESCO, Paris, 389-397.
- Walanus, A. y Nalepka, D. 1999a. POLPAL. Program for counting pollen grains, diagram plotting and numerical analysis. *Acta Palaeobotanica, Supplement*, 2: 659-661.
- Walanus, A. y Nalepka, D. 1999b. *POLPAL. Numerical analysis*. W. Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, Polonia, 1-10.
- Walanus, A. y Nalepka, D. 2002. *POLPAL. Counting pollen, tables storage and diagrams plotting. System manual*. W. Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, Polonia, 1-25.
- Zucol, A. F. 1995. Microfitolitos: II. Análisis de las clasificaciones. *Ameghiniana*, 32: 243-248.
- Zucol, A.F. 1999. Fitólitos: hacia un sistema clasificatorio. *Ameghiniana* 36 (4) Suplemento, Resúmenes: 43R.
- Zucol A. F. y M. Osterrieth. 2002. Técnicas de preparación de muestras sedimentarias para la extracción de fitólitos. *Ameghiniana* 39 (3): 379-382.
- Zucol A. F. y Brea, M. 2005. Sistemática de fitólitos, pautas para un sistema clasificatorio. Un caso en estudio en la Formación Alvear (Pleistoceno inferior). *Ameghiniana*, 42 (4): 685-704.
- Zucol, A. F., Passeggi, E. y Fernández Honaine, M. 2005. *Guía del curso: "Análisis fitolíticos: metodologías básicas y su aplicación a los estudios paleoecológicos"*. Universidad Autónoma de Entre Ríos, Facultad de Ciencia y Técnica. 99pp.
- Zucol, A. F. y Bonomo, M. 2008. Estudios arqueobotánicos del Sitio Nutria Mansa 1 (Partido de General Alvarado, provincia de Buenos Aires): II. Análisis fitolíticos comparativos de artefactos de molienda. En: Korstange, M.A. y Babot, M.P. (eds.) *Matices interdisciplinarios en estudios fitolíticos y otros microfósiles*. BAR International Series, S1870.

Recibido: 16/10/2010 - Aceptado: 20/11/2010